Présentation et mise en œuvre du système de mesure CLIO "Pocket"

Lors de la séance technique du 20 juin 2015, un système de mesure CLIO a été mis en œuvre sur un système à quatre canaux constitué d'enceintes Kef LS50. Ce système de mesure conçu par la société italienne Audiomatica n'est pas nouveau, étant apparu il y a plus de 20 ans. Ce qui l'est, c'est sa livraison depuis début avril 2015 sous une forme simplifiée, se branchant sur tout ordinateur PC ou Mac disposant d'une prise USB. L'objet de la séance était donc de présenter cet appareil, d'évaluer son adaptation aux besoins d'un membre Afders représentatif, et par la même occasion d'évaluer l'installation à quatre canaux frontaux de notre secrétaire général, constituée de deux amplificateurs stéréophoniques Flying Mole couplés et de quatre enceintes Kef LS50.

Principe du système de mesure CLIO

On a présenté il y a un peu plus de 20 ans, dans le numéro 51 de ce bulletin, le système de mesure Kemsonic piloté par ordinateur, émettant des fréquences glissantes ou hululées (en 1/3 octave) et capable de mesurer bandes passantes, courbes d'impédance et temps de réverbération, et de déterminer les paramètres (dits de Thiele et Small) des haut-parleurs.

Ce système fonctionnait sous le système d'exploitation DOS, ce qui présentait quelques inconvénients pour un utilisateur de Windows ou de Macs récents, sans compter son branchement sur des standards de prises ayant disparu des ordinateurs. En outre, le système ne permet pas d'évaluer la réponse impulsionnelle, l'évolution de la réponse d'un système dans le temps (courbes "waterfall"), et encore moins d'éliminer l'influence du local.

Une mise à jour s'imposait donc. Le système CLIO était tout indiqué, mais il était plus puissant que nécessaire et un peu cher pour un simple amateur de haute fidélité. La mise sur le marché début 2015 d'une version simplifiée[1], compatible Mac et PC et destiné à être branchée sur une prise USB, a été le déclencheur conduisant le signataire de ces lignes à procéder à une mise à jour de son système de mesure. Un petit Mac portable et un ensemble interface plus micro encore moins encombrante : voilà tout ce qui est nécessaire.

Chacun sait que par une simple transformée de Fourier, la connaissance de la réponse d'un système à une impulsion permet d'en déduire sa réponse en fréquence, et vice-versa. Dès lors que l'on dispose de la réponse à une impulsion, il est possible de détecter les réflexions dues au lieu d'écoute, de les éliminer, et par conséquent d'accéder à une évaluation du produit en test, indépendante du lieu d'écoute. Rien n'étant gratuit toutefois, cette opération aura des conséquences sur la précision de cette évaluation dans le grave, en fonction de la quantité des informations qui auront ainsi été éliminées.

Il y a toutefois un problème : pour obtenir la meilleure précision de mesure et la plus grande bande passante, il faut une impulsion parfaite de durée aussi courte que possible : comment alors émettre suffisamment d'énergie ? L'énergie, c'est une puissance (une énergie par unité de temps), que multiplie une durée. Si la durée est infiniment faible, il faut une puissance infiniment grande. On imagine que les capacités de l'amplificateur, voire des haut-parleurs, seront vite dépassées.

C'est là que les ressources des mathématiques et de l'informatique viennent à notre rescousse : le système CLIO met traditionnellement en œuvre un signal MLS (Maximum Length Sequence) ou encore, en gaulois, "séquence de longueur maximale", ce qui ne nous

[1] : Disponible auprès de la société Tecsart, située à Bussy St-Georges, pour la somme de 600 Euros (logiciel, interface, câbles et microphone inclus).

avance pas beaucoup. Cette séquence est caractérisée par une répartition spectrale plate; elle s'apparente donc au bruit blanc. Il s'agit cependant d'une séquence pseudo-aléatoire, donc parfaitement définie. L'élimination du caractère aléatoire de cette séquence garantit donc la reproductibilité des mesures et l'inutilité de procéder à plusieurs mesures pour en faire la moyenne et en augmenter ainsi la précision.

Il n'entre pas dans notre objectif de présenter la définition mathématique de cette séquence numérique de 0 et de 1. Il nous suffira d'indiquer qu'elle a été définie de sorte que sa fonction d'autocorrélation soit une impulsion parfaite. Par conséquent, l'analyse de la corrélation entre signal mesuré en sortie d'un appareil et signal injecté en entrée permet de déterminer la réponse de l'appareil à cette impulsion, une transformée de Fourier de cette réponse donnant la fonction de transfert et donc la réponse en fréquence de l'appareil, selon une démarche illustrée par la figure 1, extraite de l'article "The MLS analysis technique and Clio", disponible sur le site de Audiomatica :

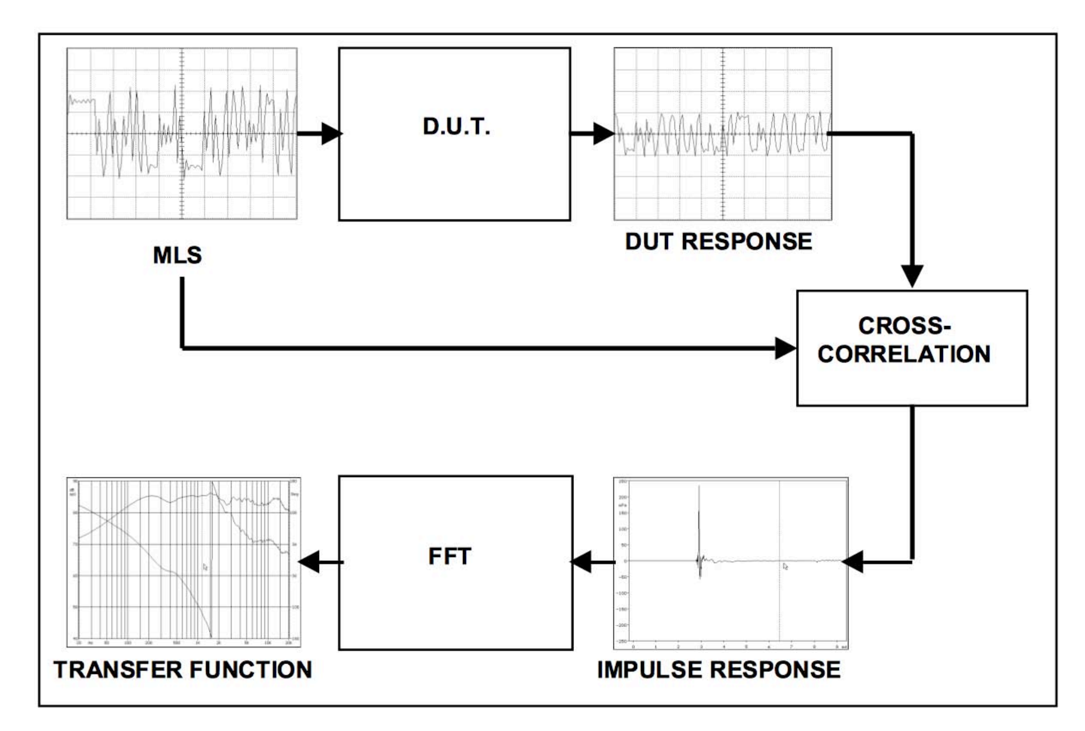


Figure 1 – Principe de la mesure MLS mise en œuvre sur le système CLIO. Le "DUT" est le "device under test", c'est à dire l'appareil soumis au test. "FFT" signifie "fast Fourier transform", c'est à dire transformée de Fourier rapide.

Ceci étant précisé, la version CLIO Pocket n'utilise pas un signal de type MLS, mais un signal de type "Chirp" (que l'on pourrait traduire par "gazouillis", et c'est effectivement ce que l'on entend lors du test). Ce type de signal a été développé, notamment pour les utilisations radar ou sonar, avec l'objectif d'améliorer le rapport signal/bruit. Un chirp est par définition un signal pseudo-périodique modulé en fréquence et/ou en amplitude. Ayant une distribution spectrale naturelle s'apparentant au bruit rose, il procure un meilleur rapport signal/bruit dans les basses fréquences.

Comme l'indique le schéma de principe de la figure 2[2], cette technique permet d'accéder au même type d'information que le signal MLS : on retrouve ici encore la comparaison (qui n'est plus une "cross-correlation") entre signal de référence et signal ayant traversé l'appareil en test et plusieurs transformées de Fourier permettant de passer de la réponse en fréquence à la réponse impulsionnelle (au lieu d'un passage de la réponse impulsionnelle à la réponse en fréquence dans le cas du signal MLS), cette dernière ouvrant la possibilité d'un fenêtrage (windowing) permettant d'éliminer l'influence du local…

[2] : Extraite de l'article "Swept Sine Chirps for Measuring Impulse Response" de Ian H. Chan, téléchargeable à l'adresse http://www.thinksrs.com/downloads/PDFs/ApplicationNotes/SR1_SweptSine.pdf. La mise en œuvre dans CLIO Pocket peut être légèrement différente.

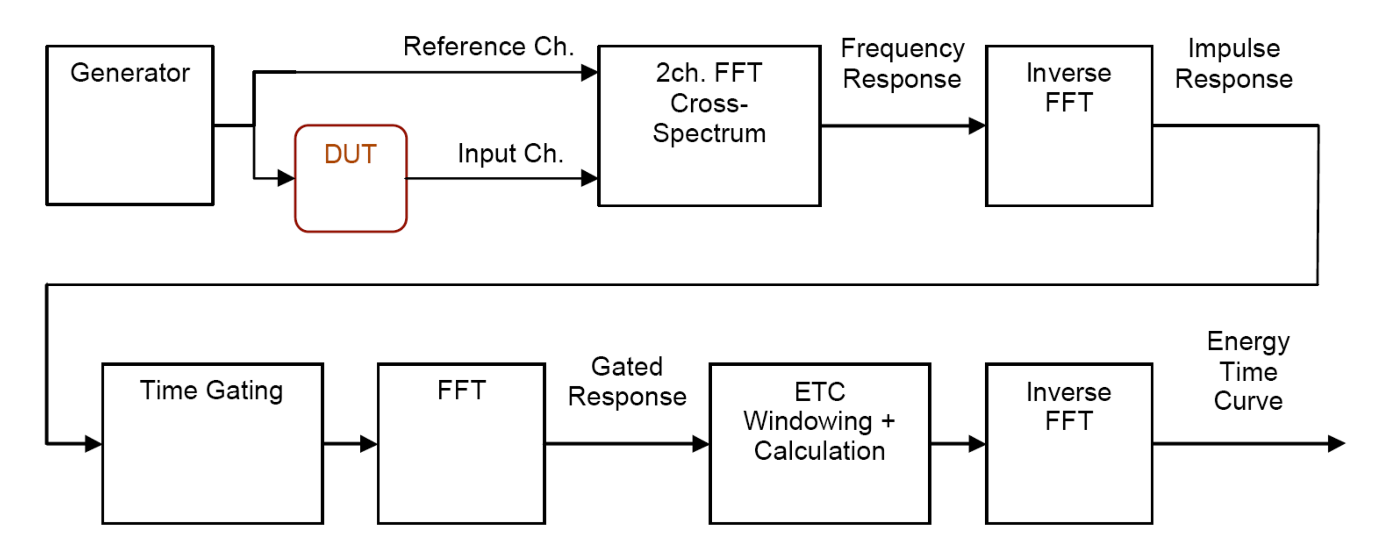


Figure 2

Dans la version 10 de CLIO, les deux options MLS et Chirp peuvent être retenues et le mode d'emploi développe les avantages et inconvénients des deux options. Dans la version simplifiée Pocket, seule la seconde a été conservée au vu de ses avantages.

Parmi les avantages revendiqués figure la possibilité de repérer les harmoniques dans la queue de la réponse impulsionnelle, ouvrant la voie à la mesure de la distorsion en fonction de la fréquence, non encore implémentée à ce jour.

Une petite remarque en passant : la documentation et le mode d'emploi sont en anglais, ce qui implique de l'utilisateur une maîtrise minimale de la langue de Shakespeare. On notera également que ce mode d'emploi, intitulé d'ailleurs "Survival Guide" ou guide de survie, se limite à introduire à l'utilisation de cet outil et ne fait qu'en effleurer les possibilités.

Présentation du système CLIO Pocket

Le système de mesure Clio Pocket se présente sous la forme d'une petite mallette comportant (figure 3) : une interface avec une prise USB de type "B" d'un côté et deux prises RCA "in" et "out" de l'autre, un CD comportant le logiciel et le mode d'emploi sous la forme d'un fichier PDF, un microphone étalonné, un câble USB, un câble RCA de 3m de longueur pour la connexion au microphone et un câble avec prise RCA d'un côté et pinces crocodile de l'autre pour les mesures d'impédance.



Figure 3

L'installation s'effectue sans difficulté. Au lancement du programme, l'écran illustré figure 4 apparaît. En haut, des icônes permettent de définir les différents paramètres de mesure, l'ouverture, l'enregistrement, l'impression ou l'exportation des fichiers, les options de présentation, le choix des différents types de mesure.

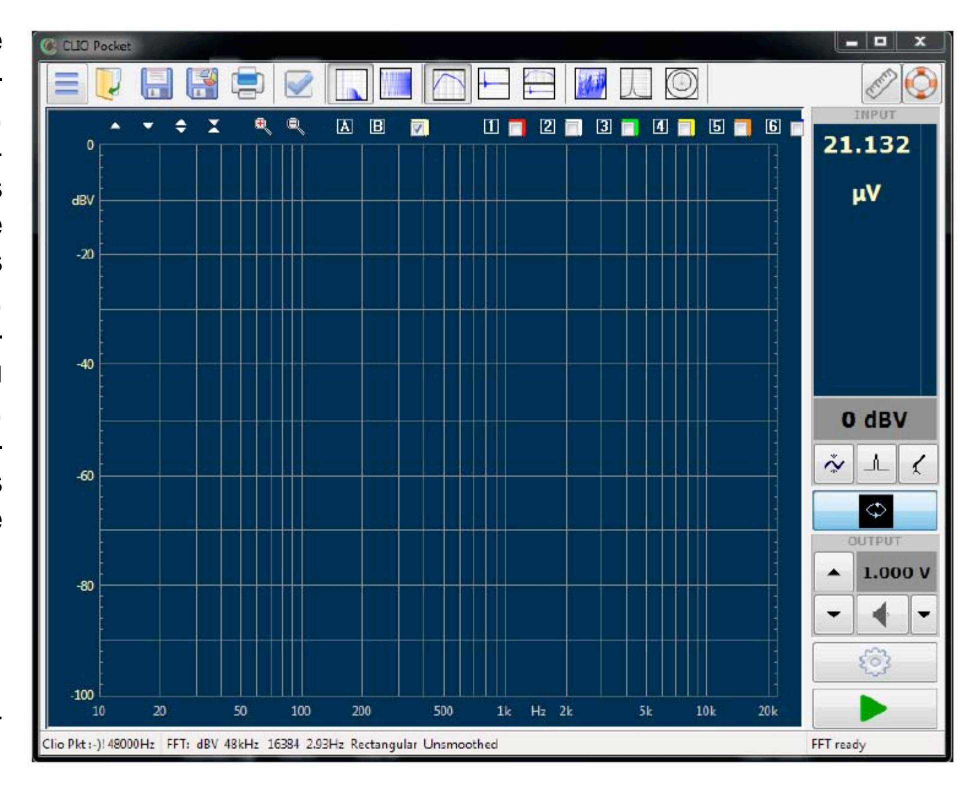


Figure 4

En dessous et à droite apparaissent les résultats de mesure, le réglage des caractéristiques et des niveaux des signaux injectés, la bouclage entre entrée et sortie de l'interface (pour les mesures d'impédance), l'alimentation du microphone, l'inversion de polarité, le lancement du processus de mesure.

Après calibration et introduction de la valeur de sensibilité du micro, indiquée sur une fiche accompagnant le microphone, il est temps de procéder à quelques mesures.

Mise en œuvre pratique du système CLIO Pocket

Le système de mesure fut connecté à un MacBook Pro (Figure 5). Il est ici en configuration mesure d'impédance. Le microphone est encore dans son tube de plastique en arrière plan.

En premier lieu, nous avons procédé à la mesure d'impédance des enceintes. Le système évalué comporte quatre enceintes frontales Kef LS50 : deux situées en partie basse, proches des encoignures droite et gauche de la pièce, deux situées en hauteur dans les encoignures hautes droite et gauche. On voit sur la figure 6 la configuration de mesure de l'impédance de l'enceinte basse gauche (l'interface Clio est visible en bas et à droite de la photo).

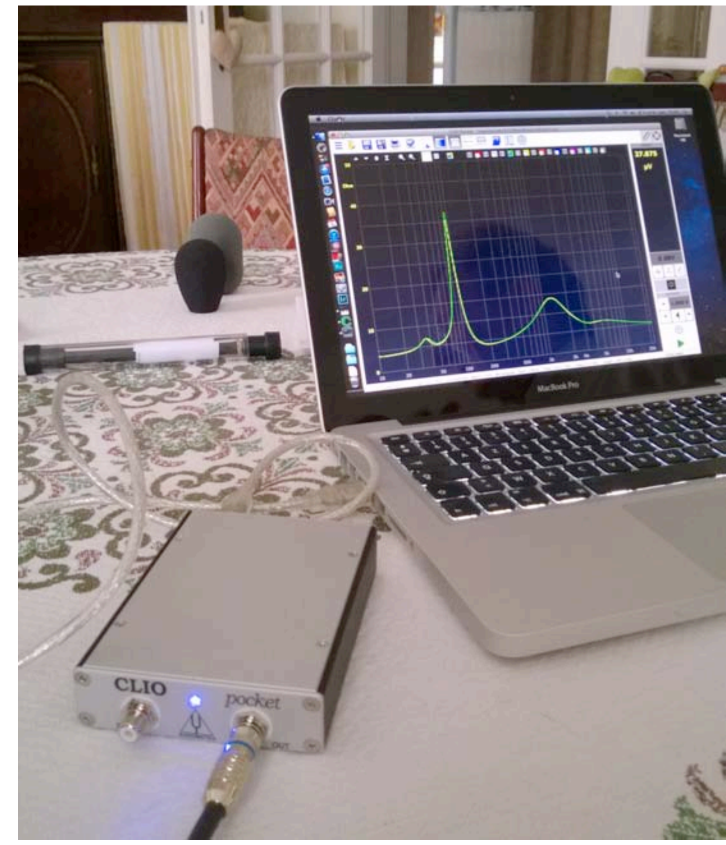


Figure 5



Figure 6

La mesure d'impédance de l'enceinte Kef LS50 positionnée à droite et en position basse est indiquée figure 7, pour trois configurations d'évent : évent ouvert (courbe rouge), évent à demi-obturé par un anneau de mousse (courbe noire), et évent obturé avec un bouchon de mousse (courbe bleue).

On note un accord bass-reflex situé relativement bas et la possibilité de choisir un comportement de type bass-reflex, enceinte close (courbe bleue), ou intermédiaire, en fonction des nécessités de l'adaptation à la pièce. En l'occurrence, ces enceintes sont exploitées après écoute avec un évent semi-obturé et les courbes suivantes ont été obtenues dans cette configuration.

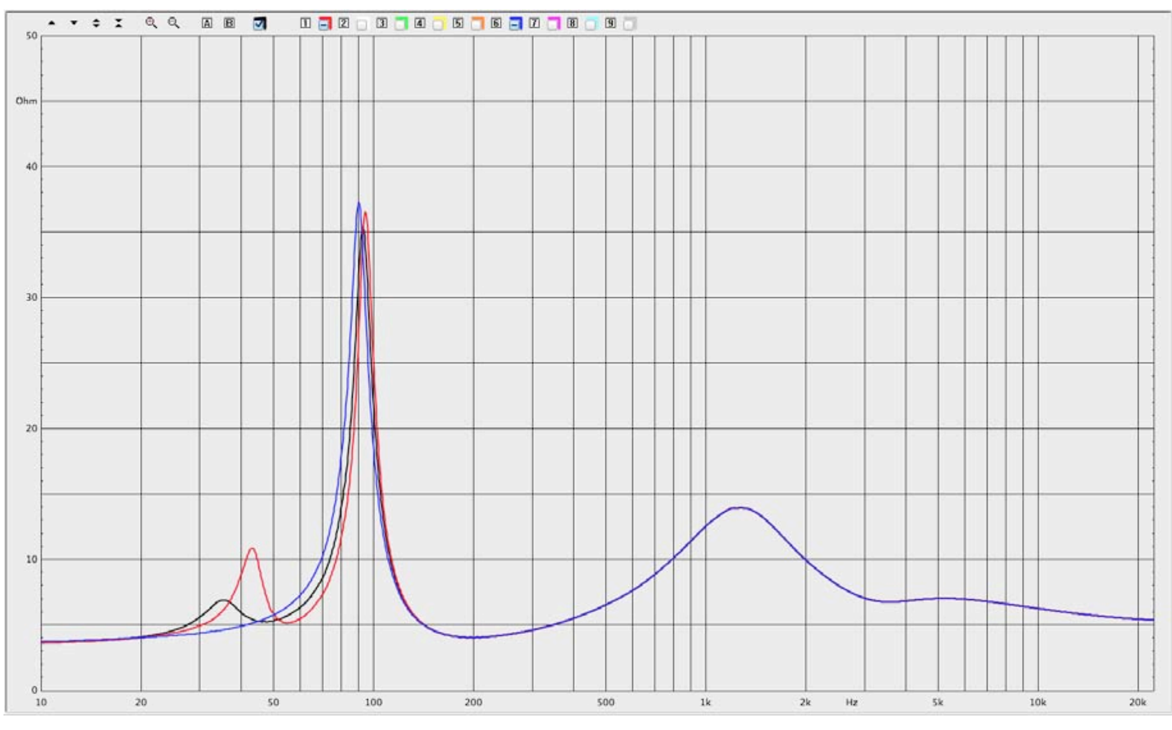


Figure 7

La mesure d'impédance de l'enceinte Kef LS50 située en position basse, à gauche, est comparée figure 8 à celle de l'enceinte précédente, dans la configuration habituelle, à savoir évent semi-obturé : la courbe bleue correspond à l'enceinte droite/bas, et la courbe rouge à l'enceinte gauche/bas. On note une bonne reproductibilité des caractéristiques. Afin de juger de l'influence d'un rideau situé d'habitude derrière l'enceinte, une mesure est également effectuée rideau en place : l'effet du rideau apparaît être négligeable (la courbe noire est superposable à la courbe rouge).

Figure 8

Les courbes de réponse sont effectuées en branchant l'amplificateur (ici des modèles Flying Mole) à la sortie "out" de l'interface, et en branchant le microphone à l'entrée "in". Le niveau est réglable par le logiciel ainsi qu'au niveau de l'amplificateur. Il a été procédé à une première mesure, à 1m de l'enceinte droite située en partie basse : figure 9. Sur cette figure, la courbe waterfall obtenue est également intégrée. On note une bonne régularité de la courbe de réponse, le renforcement du grave apporté par le positionnement en encoignure, et une réponse après excitation sans traînage ni tonique de coffret.

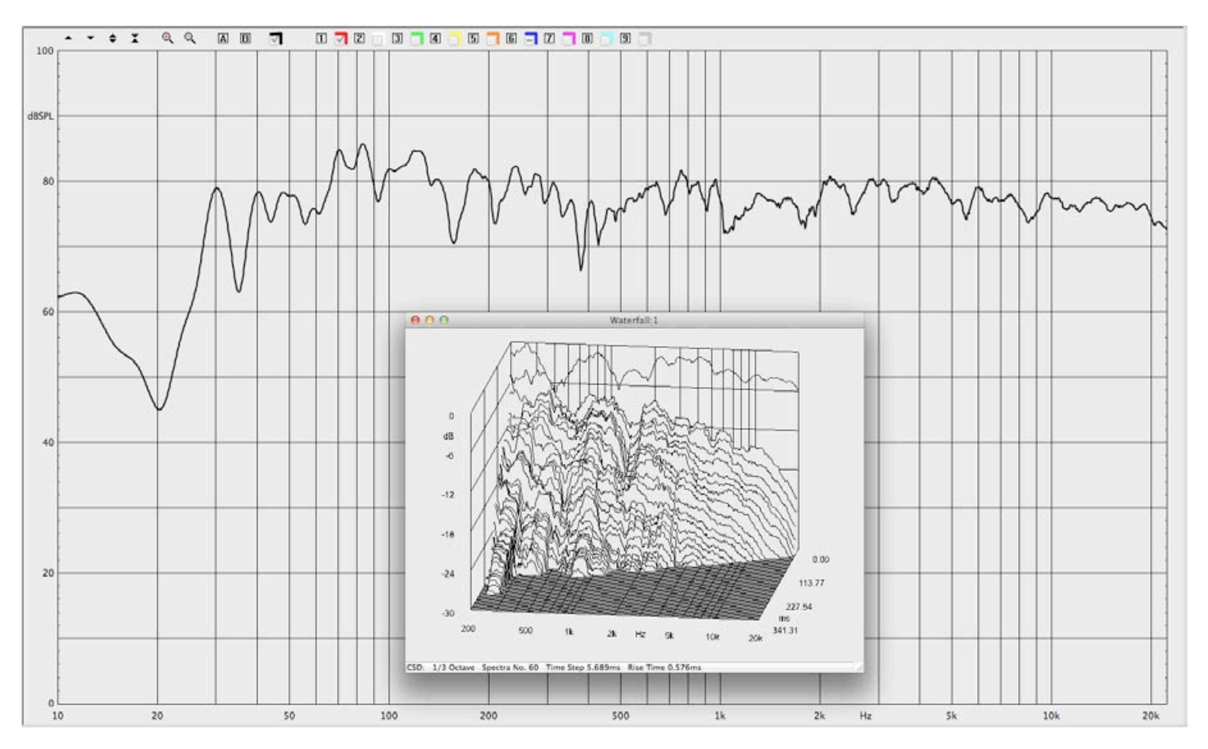


Figure 9

Cette même courbe de réponse est illustrée figure 10 en parallèle avec la réponse impulsionnelle de l'enceinte. On note un décalage de 3ms entre l'envoi du signal et sa réception, qui correspond bien à la distance à parcourir par le son entre le haut-parleur et le microphone, ainsi que la grande propreté de la réponse impulsionnelle en comparaison à d'autres produits, à imputer au crédit de la conception coaxiale des haut-parleurs.

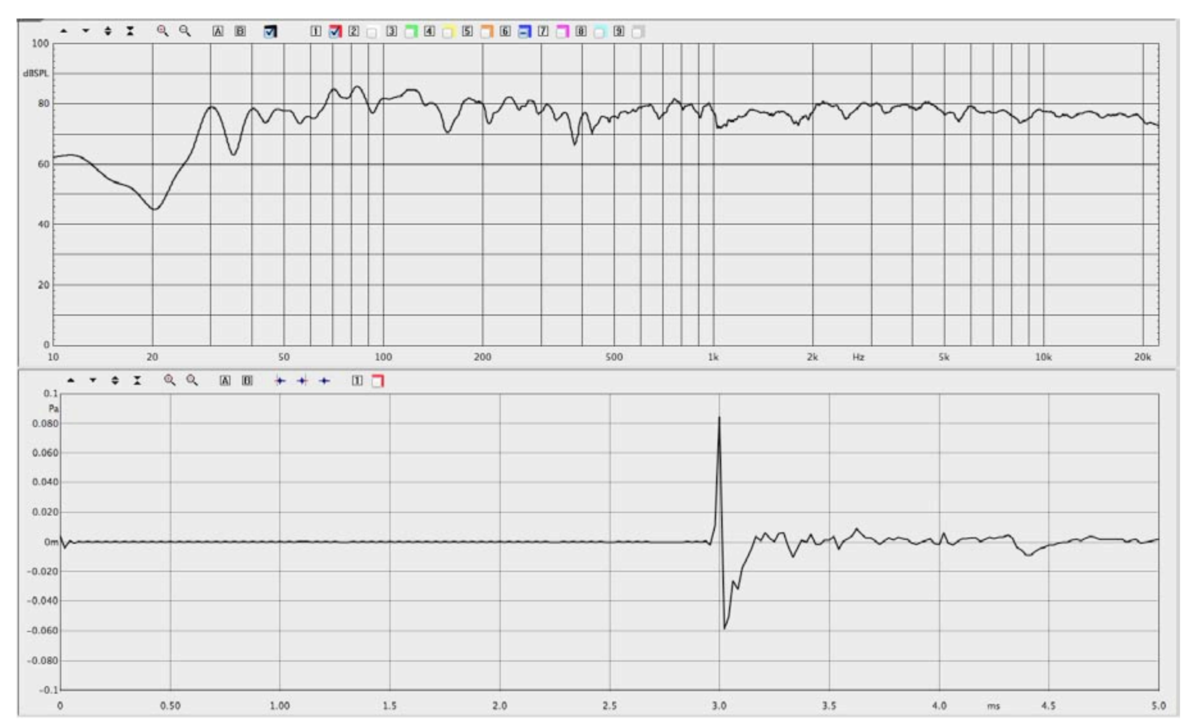


Figure 10

Si l'on mesure la réponse de la même enceinte au point d'écoute, on obtient le résultat indiqué figure 11, où la courbe à 3m (en noir) est comparée à la courbe à 1m (en rouge). On note des différences dans le grave, dues à la différence d'excitation des modes de la pièce, et l'atténuation régulière du niveau de l'aigu, due à l'absorption de l'air en fonction de la distance. Ce type de réponse légèrement descendante dans l'aigu, correspondant aux recommandations de la littérature.

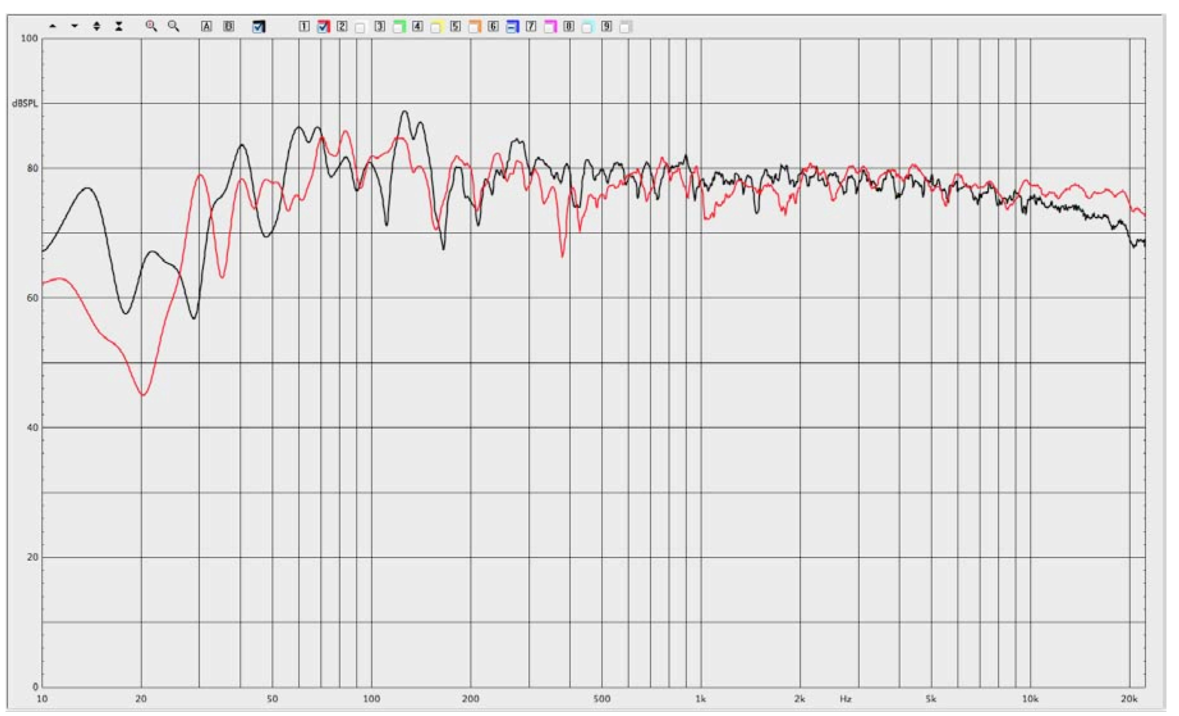


Figure 11

La figure 12 donne les courbes de réponse des quatre enceintes Kef LS50 au point d'écoute : enceinte gauche/bas : courbe rouge, enceinte droite/bas : courbe verte, enceinte gauche/haut : courbe bleue, et enceinte droite/haut : courbe noire. On note l'excellente régularité de ces courbes dans le médium-aigu et une bonne reproductibilité des réponses au point d'écoute des quatre enceintes constituant le système.

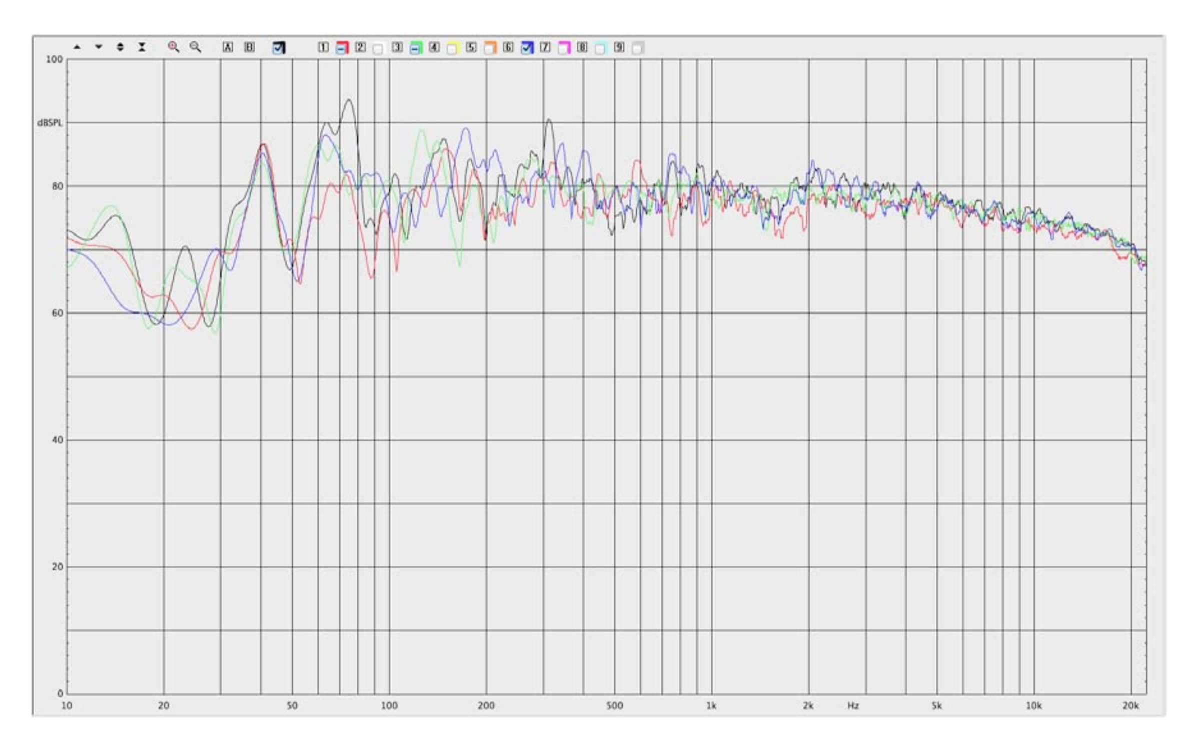


Figure 12

Enfin, l'effet d'un panneau réflecteur disposé au dessus des enceintes droite et gauche placées en hauteur a été caractérisé, figure 13, sur l'enceinte haute droite : avec panneau réflecteur : courbe rouge, et sans panneau réflecteur : courbe noire. On note que l'effet du panneau réflecteur/amortissant ne semble pas probant : il est faible et diminue plutôt la régularité des courbes de réponse entre 400 et 1000Hz.

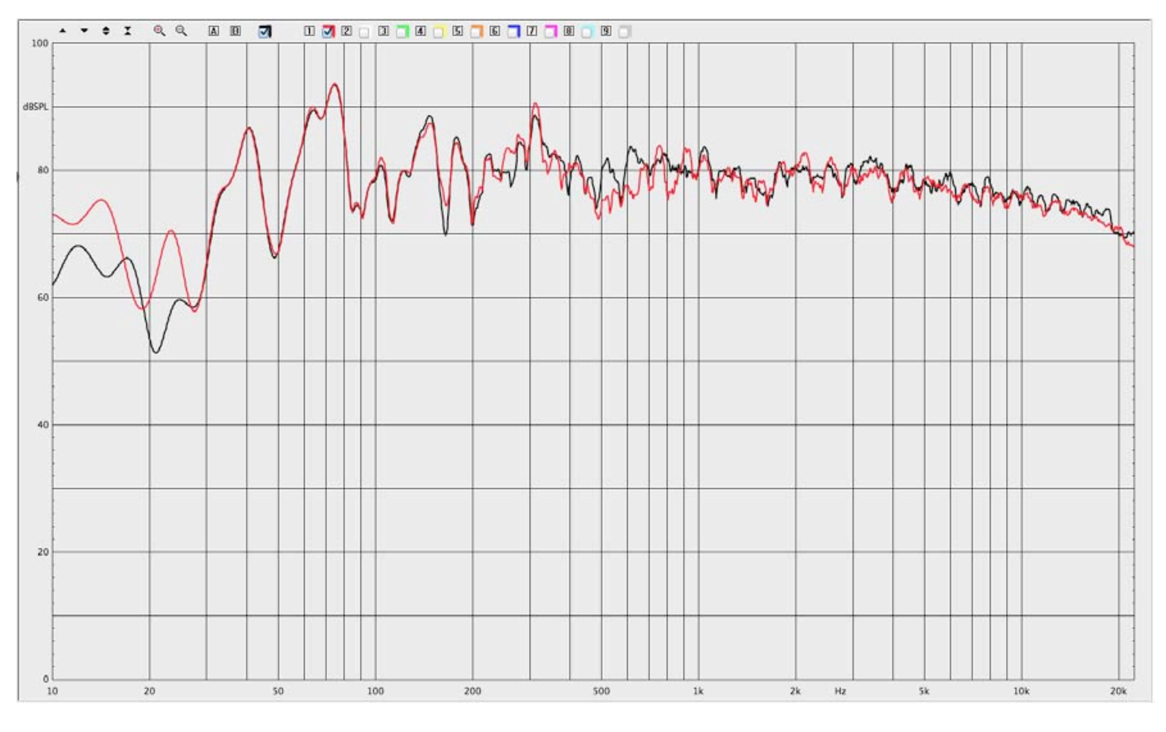


Figure 13

Les conclusions que l'on peut tirer de cet exercice sont, en premier lieu, s'agissant du système de mesure CLIO Pocket, la facilité de mise en œuvre du système et sa bonne adaptation aux besoins d'un amateur, certes passionné, ainsi que la facilité et la rapidité des mesures effectuées et la qualité des informations obtenues. En deuxième lieu, s'agissant des enceintes mesurées, on notera l'excellence des mesures obtenues, confirmées par quelques écoutes effectuées en quatre canaux frontaux à partir de prises de son effectuées de manière cohérente avec le système de reproduction.

JM. Grandemange.